

## II-72 停滞性水路における水質現象の観測と解析

北海道開発局開発土木研究所	正員	大島 省吾
	正員	中津川 誠
	正員	佐藤 徳人
北海道開発局河川計画課	正員	山崎 真一
北海道開発局石狩川開発建設部	正員	船木 淳悟
	正員	平野 令緒
	正員	坂井 一浩

### まえがき

近年、積雪寒冷地の河川や湖沼においても富栄養化現象などの事例が見受けられる。特に人工的に作られた遊水地や流れの停滞する水路等においては、周辺環境の影響を受けて水質変化が著しく、水質変化の状態把握と今後の予測およびその手法の確立が必要となっている。本研究ではそのようなモデル水域として、千歳川流域にあるネシコシ農業排水路を設定し、富栄養化の監視という点に着目して、各種調査を実施した。特に、蛍光光度計を用いたクロロフィル a の連続観測を実施し、プランクトンの詳細な変化を明らかにした。さらに、このような水質変化をもたらす現象の解明を目指すべく、気象、水文、水質、底泥等の各種観測データから、水収支、熱収支、水質現象の実態を把握し、生態系モデルによりクロロフィル a の変化を再現した。

### 1. モデル水域の概要

停滞性水路の水質現象を解明するため、図-1 に示すネシコシ排水池をモデル水域とした。当該箇所は、千歳川流域の農業用排水路として昭和 63 年より段階的に掘削が進められ、平成元年に現在のような形状(流下方向に約 2,000m、横断方向に約 130m、水深約 1.0m、勾配 1/4,500)の水路となった。水路においては、水深に対して流下方向の距離が大きいため、水流は風の影響を強く受け、混合が起りやすい状況にあり、火山灰やシルト質を主体とした細粒成分が、流入したり巻き上げられたりして、水の濁りが顕著である。一年を通し気温は夏期には 30℃程度まで上昇し、冬期には-20℃程度まで低下する。また、風向は夏に南より、冬は北よりで風速は 5m/s 以上の成分が支配的で、周辺環境に影響を与えている。降水量は 7~10 月に多く年降水量は 1,000mm を越えている。



図-1 調査箇所(ネシコシ排水池)の位置

### 2. クロロフィル a の連続観測と各調査の概要

排水池を 1 つの系とし、その中における植物プランクトンの変化を把握することを目的として、水収支、熱収支、水質成分に関する各種調査を実施した。特に、クロロフィル a については、St.4 で蛍光光度計による自記観測(毎正時)をおこなった。また、その他の代表的な水質項目については各所においてほぼ週 1 回の割合で観測をおこなった。排水池内の観測状況については図-2 に示す。なお、洪水等の非常時や目視観測によって排水池の水質の状態変化や洪水・灌漑取水による逆流などの状況変化が確認された場合には、必要に応じて観測頻度を増やした。

#### 2.1 蛍光光度法によるクロロフィル a の連続観測

クロロフィル a の観測は蛍光光度計による計測値を定期的に実測値で随時キャリブレーションし、時間単位の細かい変動まで検出した。ただし、このままではクロロフィルの初期分解生成物であるフェ

Observations and Simulations of Water Quality in a Stagnant Water Channel  
by Shogo OHSHIMA, Makoto NAKATUGAWA, Norito SATOH, Simichi YAMAZAKI,  
Jyungo FUNAKI, Reo HIRANO, Kazuhiro SAKAI

オフィチンもクロロフィル量として測定されるため、同時にフェオフィチンを測定し、その影響を取り除くことによって精度の高い観測値を得ることが可能となった。

## 2.2 水収支、熱収支、水質に関する各種調査試験

観測データから水質現象を把握するにあたり、排水路における水収支、熱収支を把握する必要がある。このうち流量については、現場が緩流で適切な水位-流量 ( $H-Q$ ) 関係をつくり難いため、自記水位データと合わせ自記電磁流速計で連続的に計測した流速データから流量を推定することとした。この際、電磁流速計は、断面平均流速と最も相関の高い位置を選んで設置した。また、排水池内の貯留量は、St.1 および St.2 の自記水位計により毎正時計測し、これを容量に変換して求めた。さらに、降雨量は転倒樹式雨量計によって観測し、蒸発量は Penman 式によって気象データ (日射量、気温、風速、湿度) から推定した。地下水流入量については、地質データや地下水位データに Darcy 則をあてはめて推定した。

また、流出入にともなう熱フラックスと大気水面間の熱フラックスを推定するために、各所に自記水温計を設置するとともに、排水池に隣接する個所で気象観測を実施した。

水質の流入負荷量は、各週実施された水質調査データに基づいて推定した。また、池内における水質変化は、プランクトンの増殖、死滅および底泥からの溶出、沈降等の要因の影響が考えられるため、関連する試験として、増殖速度試験、溶出速度試験等を実施した。さらに、排水路内の水質成分の沈降量を測定するため、現地に Sediment trap を設置した。

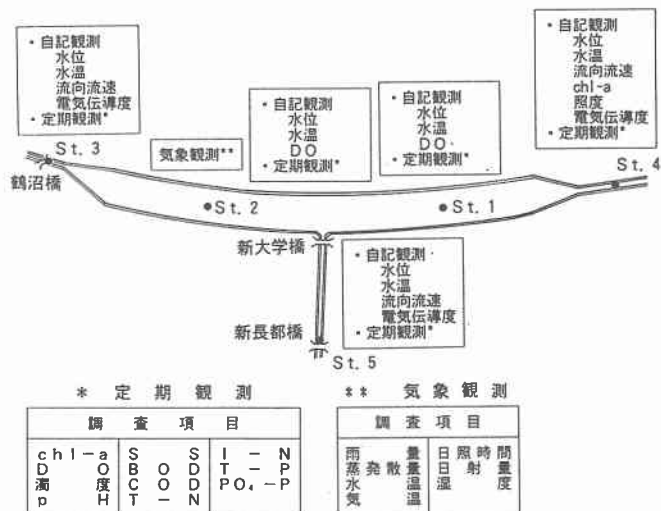


図-2 観測地点の位置と項目の内訳

## 3. 富栄養化の現象把握とモデリング

### 3.1 モデル水域における水質の状況

モデル水域では、図-3 に示すようにクロロフィル a (chl-a) の増殖が、5月、6月に一つのピークを示している。さらに近年では、9月にも2度目のピークが現れるようになり、それと同時に年々値が変化している。なお、水温の高い8月よりも9月にクロロフィル

chl-a ( $\mu\text{g/l}$ )

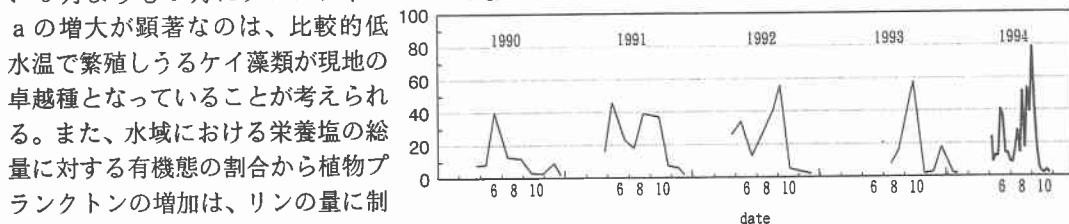


図-3 chl-a の経年的変化

a の増大が顕著なのは、比較的低水温で繁殖しうるケイ藻類が現地の卓越種となっていることが考えられる。また、水域における栄養塩の総量に対する有機態の割合から植物プランクトンの増加は、リンの量に制限されている状態 (リン律速) であることがわかっている。なお、総量としては特に窒素が高濃度となっている。

### 3.2 水温と水質のモデリング手法

次に、水質変化の要因を分析し、今後の水質予測の基礎とすることを目的として、水温、水質の変化をモデル化した。

クロロフィルaの変化を再現をするにあたり、最初に観測データから混合の状況を把握し、モデルの構造を決定した。

鉛直方向については、池内のSt.1とSt.2の2割と8割水深で連続計測がおこなわれているが、ほとんど水温差が認められなかったことから1層で充分と考えた。ただし、水平方向については、過去の流動特性調査から十分な混合が行われていることがわかっているものの、St.1とSt.2で概ね1~3℃の水温差が認められたので、排水池を3つのボックス(各671m × 130m)に分割することにした。そのうえで、基本となる水温の再現計算を完全混合槽列モデルを用いて、式(1)により水収支(流出入量、降雨、蒸発量)を明らかにし、その条件から式(2)によって水温変化を算出した。この際の計算は時間データを用いておこない、出力したものを日平均化している。結果を図-4に示す。

表-1 水収支、熱収支、水質変化のモデル基礎式

$\frac{dV}{dt}$	$= Q_i - Q_o + Q_g + A(R - E)/\Delta t$	(1)	
$V \frac{dT}{dt}$	$= Q_i T_i - Q_o T + Q_g T_g + \frac{A}{\rho c_w} \phi$	(2)	
$V \frac{dC}{dt}$	$= L_i - L_o + L_g + \nabla F(C)$	(3)	
$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{S + L}{I} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u)(e_s - e)$ $\phi = S + L - H - IE$			
V	貯留量	Q	流量(下付iは流入, oは流出, gは地下水)
T	水温(下付iは流入, oは流出, gは地下水)	L	負荷量(下付iは流入, oは流出, gは地下水)
R	降雨量	E	蒸発量
A	水面積	$\rho$	水の密度
$c_w$	水の比熱	$\Delta$	飽和水蒸気曲線の勾配
$\gamma$	乾燥計定数	l	蒸発潜熱
f(u)	風速uにおけるバルク係数	e	水蒸気圧(下付sは飽和)
S	日射量	L	長波放射量
H	顕熱量	IE	潜熱量

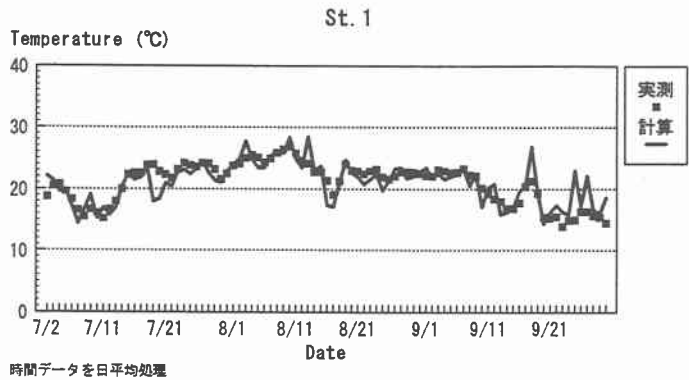


図-4 水温の実測値と計算値の比較

水質変化の大きな要因となる水温の再現計算が、その変動傾向を的確に再現していることを踏まえて、クロロフィルaの再現を目的としたシミュレーションを式(3)をRunge-Kutta-Gill法で解くことによって行った。この中の変化項S(C)はプランクトンの増殖、死滅、各水質成分の底泥からの溶出、沈降などを考慮した、いわゆる生態系モデルを用いて定式化している(図-5)。ここでの計算対象項目としては、クロロフィルa(chl-a), DO, BOD, COD, I-

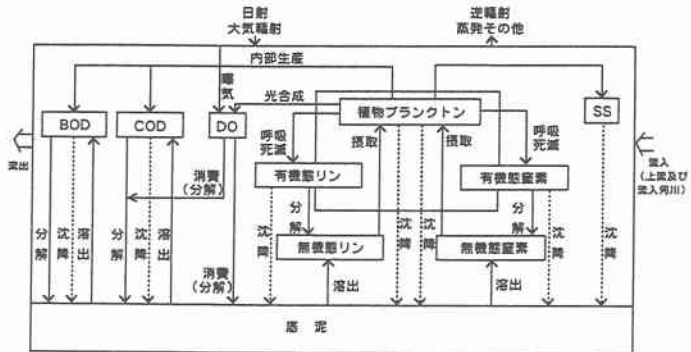


図-5 生態系モデルの模式図

P、O-P、I-N、O-N、SS の 9 項目である。また、与える条件としては流量と算出した水温のほか、日射量などの気象データおよび水質成分流入負荷量である。なお、流入負荷量については通常用いている負荷量-流量 ( $L-Q$ ) 関係式では、その変化を推定し難いため、水質データを時系列的に比例配分して求めた。さらにモデルの各種パラメータについては増殖、溶出等の試験や既往の知見を通して現地に適合するものを用いた。

### 3.3 クロロフィル a の測定結果とその再現結果

図-6 にクロロフィル a の再現計算結果を実測値とともに示す。図からわかるように、蛍光光度法を用いたクロロフィル a の測定により、夏期におけるプランクトンの増殖の変化を的確に捉えることができた。また、モデル計算は変化を多少鋭敏に表しすぎているものの、実測値と比べ増加減少の立ち上がり部分を含め、その変化傾向を的確に再現することができた。この結果、今回採用したモデルやパラメータが現地の水質現象を捉えるうえで妥当なもので、調査方法を含め類似水域の水質現象の解析にも有用なものであることが確認された。それと共に測定方法として蛍光光度計を用いた手法の有効性が再確認された。

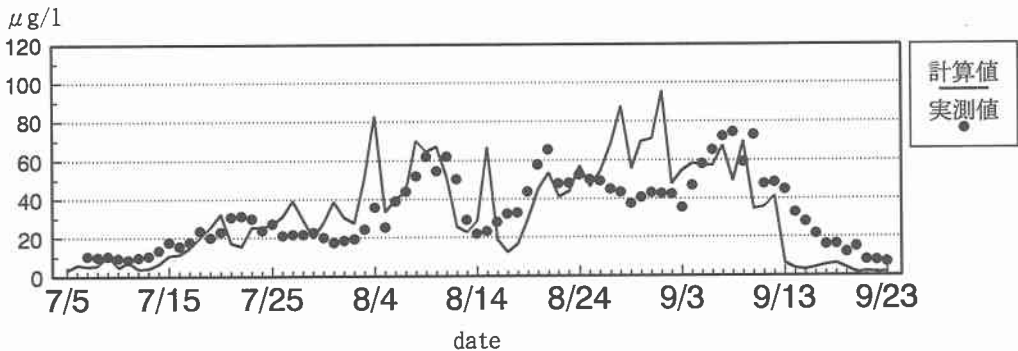


図-6 クロロフィル a の実測値と計算値の比較

### あとがき

ここで得られた主な知見を以下に箇条書きにする。

- ・各種調査により、当該水路がリン律速であり、水理、気象条件から鉛直混合が顕著で水温成層や嫌気化はみられなかった。
- ・蛍光光度計によるクロロフィルの測定は、同時にフェオフィチンを測定することによってその影響を取り除き的確な値を得ることができた。
- ・水収支・熱収支・生態系をモデリングしたシミュレーションにより、植物プランクトン(クロロフィル a)の動向が的確に再現された。

今回の観測の意義としては、蛍光光度法によるクロロフィル a の連続観測手法を確立したこと、クロロフィル a の変動を定量的に再現したことにある。以上のような知見を蓄積したうえで、今後、他の水域等においてもここで提案した観測、モデリング手法が植物プランクトンの監視と水質の将来予測にとって有効と考える。今後はプランクトンの種の変遷や底泥の状態変化を確認し、池内における増殖のプロセスを現象観測とモデリングの両面から考察していきたい。

### 参考文献

- 1) 佐藤徳人, 中津川誠, 西村豊, 1992: 水深の浅い水路の水理・水質特性について: 土木学会北海道支部年次学術発表会論文集第 48 号 317-322.
- 2) 佐藤徳人, 西村豊, 中津川誠, 1993: 水深の浅い水路の水質特性について: 土木学会北海道支部年次学術発表会論文集第 49 号 597-602.
- 3) 佐藤徳人, 西村豊, 益塚芳雄 1994: 蛍光光度法による藻類監視について: 土木学会北海道支部年次学術発表会論文集第 50 号 151-156.
- 4) 森北佳昭, 天野邦彦, 1991: 貯水池水質の予測・評価モデルに関する研究: 建設省土木研究所報告, 第 182 号-1, 1-109